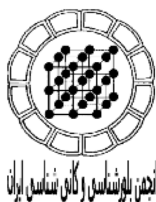
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۹، از صفحهٔ ۶۵۹ تا ۶۷۴




# زمین‌شناسی، کانه‌زایی و زمین‌شیمی رخداد مس رسوبی سرخه، شمال غرب مرند، شمال غرب ایران

اسماعیل خان‌چوبان*[1]، علی عابدینی[1]، فرهنگ علیاری[2]، علی اصغر کلاگری[3]، مروت فریدآزاد[4]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

۳- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۴- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۶/۱۶، نسخه نهایی: ۹۸/۱۰/۱۱)

**چکیده:** کانی‌زایی مس رسوبی منطقه سرخه در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال‌غرب شهرستان مرند در استان آذربایجان‌شرقی، شمال‌غرب ایران واقع است. مهم‌ترین واحدهای سنگی در این منطقه شامل ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سرخ رنگ وابسته به میوسن پسین هستند که توسط دایک لامپروفیری قطع شده‌اند. کانی‌زایی مس در منطقه مورد بررسی به صورت چینه‌سان با بافت‌های لایه‌ای و دانه‌پراکنده در ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها و همچنین به صورت پر کننده فضاهای خالی در دایک لامپروفیری رخ داده است. کانه‌زایی در ماسه‌سنگ‌ها شامل کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، تتراهدریت، کوولیت، مس خالص و کوپریت است. بررسی های نشان می‌دهند این کانی‌زایی در ارتباط با هوازدگی و شستشوی دایک لامپروفیری است. همچنین، نهشت مس در واحدهای ماسه‌سنگی در ارتباط با تله‌های مواد آلی است. فعالیت محلول‌های گرمابی، حضور مواد آلی فراوان، عملکرد فرایندهای سنگ‌زایی، وجود سدهای زمین‌شیمیایی (مواد آلی و سیلیسی شدن) و زمین ساخت فعال در منطقه نقش مهمی در این کانی‌زایی داشته‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** *کانی‌زایی مس؛ سرخه؛ لامپروفیر؛ ماسه‌سنگ؛ سنگ‌زایی؛ مواد آلی.*

**مقدمه**

تاکنون، پژوهش و اکتشاف چندانی در رابطه با نهشته‌های مس نوع لایه سرخ در ایران انجام شده است. پهنه‌های کانی‌زایی رسوبی مس در ایران در سه ناحیه زنجان- تسوج (شمال‌غرب ایران)، جنوب زاگرس (جنوب غرب ایران) و ایران مرکزی شناسایی شده‌اند [۱-۸]. در حوضه رسوبی تبریز- خوی، نشانه‌های معدنی متعددی از مس رسوبی گزارش شده است [۹-۱۱]. این نشانه‌های معدنی در نواری به طول ۲۵۰ کیلومتر از منطقه زنجان در جنوب‌شرق تبریز تا روستای ایواوغلی خوی گسترش یافته‌اند. منطقه سرخه در استان آذربایجان‌شرقی، غرب شهرستان مرند، بین عرض‌های جغرافیائی ´۲۴ °۳۸ تا ´۲۶ °۳۸ شمالی و طول‌های´۲۶ °۴۵ تا ´۲۸ °۴۵ شرقی جای دارد. مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی در این منطقه نهشته‌های سازند سرخ بالایی میوسن و مجموعه‌های آتشفشانی پلیوسن هستند. دایک لامپروفیری در مقطع کانه‌زایی شده مس در واحدهای سازند سرخ بالایی میوسن منطقه مورد بررسی تزریق شده است. با توجه به نتایج پیشین، ذخیره مس سرخه دارای ۵ لایه ماسه‌سنگی کانه‌دار است. این لایه‌ها به صورت عدسی با گسترش طولی بسیار در حد کیلومتر و با ضخامتی متغیر از چند سانتی‌متر تا ۲۰ متر گسترش یافته‌اند [۱]. سنگ شناسی عمده در این نشانه‌معدنی در شمال‌غرب ایران شامل مارن، مارن گچ و نمک‌دار، شیل، لای سنگ،

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۹۷۴۲۸۱۵، نمابر: ۰۴۴-۳۲۷۷۶۷۰۷، پست الکترونیکی: ismail.tgeology@gmail.com



[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]

[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

ماسه‌سنگ سرخ و کنگلومرا است. کانی‌زایی در آنها در ارتباط با تمرکز مواد آلی رخ داده است. این واحدها توسط گنبدهای داسیتی و دایک‌های با ترکیب لامپروفیری و آندزیتی میوسن پسین قطع شده‌اند [۱]. از آنجا که تاکنون بررسی دقیقی پیرامون کانه‌زایی مس از نظر کانی‌شناسی و زمین‌شیمی در لایه‌های ماسه‌سنگی (لایه‌های سرخ) منطقه سرخه انجام نشده است، در این پژوهش، موارد یاد شده در این ماسه‌سنگ‌ها بررسی گردید. افزون بر این، ارتباط واحدهای ماسه‌سنگی با دایک لامپروفیری تزریق شده در منطقه از نظر زایشی نیز بررسی شد.

**روش بررسی**

به منظور بررسی کانی‌زایی منطقه سرخه، تعداد ۸۰ نمونه از واحدهای ماسه‌سنگی و دایک قطع‌کننده آنها در یکی از ۳ نشانه معدنی موجود نمونه‌برداری گردید. به این منظور، تعداد ۱۲ مقطع نازک- صیقلی از واحد ماسه‌سنگی کانی‌زایی شده و ۲ مقطع نازک صیقلی از دایک لامپروفیری از نظر کانی‌شناسی و کانه‌نگاری بررسی شدند. همچنین، به منظور بررسی‌های زمین‌شیمیائی تعداد ۴ نمونه از ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی شده به روش طیف سنجی فلئورسانس پرتوی اشعه ایکس (XRF) و ۱۰ نمونه به روش طیف‌سنجی جرمی- پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) با دستگاه مدل Agilent 4500 series در آزمایشگاه‌های زرآزما تجزیه گردیدند. آماده-سازی نمونه‌ها به روش انحلال اسیدی کامل (چهار اسید) با استفاده از مقدار مشخص اسیدهای هیدروکلریک، پرکلردریک، نیتریک و هیدروکلریدریک در لوله‌های تفلونی در آزمایشگاه-های شرکت یاد شده انجام شد. همه نمونه‌ها در جعبه داغ در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت قرار گرفتند تا فرآیند هضم به طور کامل صورت گیرد.

**بحث و بررسی**

**زمین‌شناسی ناحیه‌ای و چینه‌شناسی منطقه‌ای**

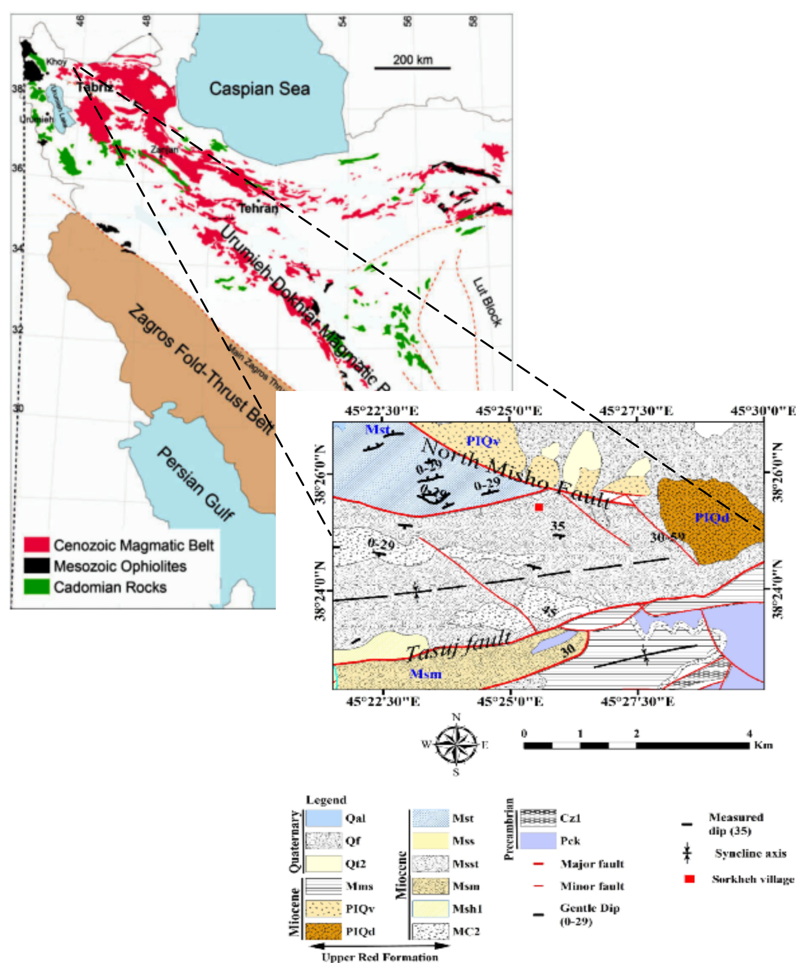
منطقه تسوج بخشی از پهنه ایران مرکزی [۱۲] و بخشی از زیر پهنه خوی- ماکو است [۱۳]. رخداد شکستگی قاره‌ای و باز شدن اقیانوس پالئوتتیس با مجموعه مافیک میشو (کوه‌های میشو) در شمال‌غرب ایران نمود دارد [۱۴]. این کوه‌ها در شمال و جنوب توسط دو سامانه گسلی سنوزوییک قله تالغز با سازوکار قلهتگرد محدود شده و به صورت یک ساختار برجسته ظاهر شده‌اند [۱۵]. گسل تسوج کوه‌های میشو را در بخش شرقی به دو قسمت به نام‌های کوه‌های شرقی و غربی تقسیم کرده است (شکل ۱). در بخش شرقی این کوه‌ها، عمده رسوب-ها و فعالیت ماگمایی رخنمون‌یافته وابسته به میوسن و پلیوسن هستند [۱۶]. مهم‌ترین واحدهای سنگی منطقه دارای رخنمون به شرح زیر هستند (شکل‌های ۱ و ۲):

(۱) واحد $M^{sst}$: این واحد به سن میوسن پیشین از ماسه‌سنگ-های قرمز رنگ با میان‌لایه‌های بسیار نازکی از تبخیری‌ها (سنگ گچ و هالیت) تشکیل شده است [۱۶]. واحد یاد شده با گسترش چند کیلومتری، فراوان‌ترین و گسترده‌ترین واحد در بین رخنمون‌های سطحی منطقه محسوب می‌شود (شکل ۳ الف). لایه‌بندی در قسمت‌های قله، منظم بوده ولی در قاعده با چین‌خوردگی همراه است. در جنوب منطقه، این واحد دارای میان‌لایه‌هایی از واحد شیلی ($M^{sh1}$) است. واحد ماسه‌سنگ قرمز رنگ میوسن میزبان اصلی کانه‌زایی مس در منطقه سرخه به شمار می‌رود.

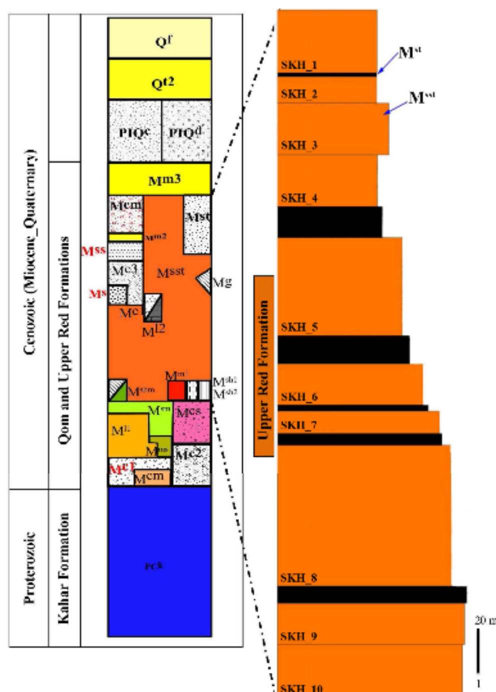
(۲) واحد $M^{st}$: این واحد به سن میوسن در بخش جنوبی منطقه با رخساره‌ای شامل ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ با میان-لایه‌های آهکی گسترش یافته است که به طور جانبی به واحد ماسه‌سنگی ($M^{sst}$) تبدیل می‌شود (شکل ۳ ب).

(۳) واحد $PLQ^{V}$: این واحد شامل گدازه‌های بازی با سرشت شوشونیتی است (شکل ۳ ب). گدازه‌های توده‌ای و جریانی همراه با واحدهای آذرآواری (توف و آگلومرا) عمده‌ترین برونزدهای این سنگ‌های آتشفشانی در منطقه هستند سنگ-های یاد شده از سرخه تا گزافر به صورت برآمدگی‌هایی با شیب ملایم و به احتمال بسیار در راستای خط گسلی برونزد دارند. ترکیب سنگ‌شناسی این سنگ‌های آتشفشانی شامل تفریت، بازالت آندزیتی، لوسیت بازانیت و بازالت است. جایگاه زمین ساختی این سنگ‌ها کمان کرانه‌ای فعال قاره‌ای و کمان پس از برخورد است [۱۷].

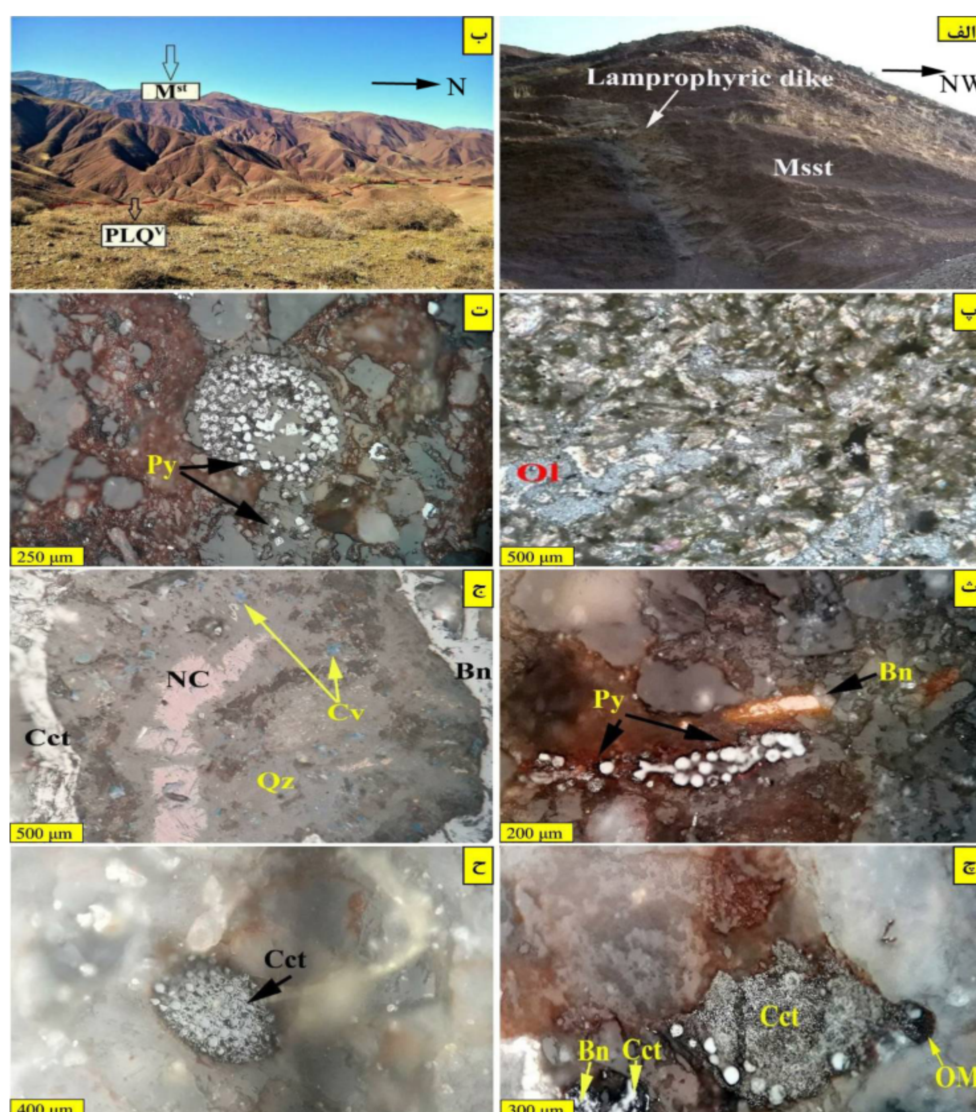
(۴) واحد $Q^{f}$: مخروط‌افکنه‌های بادبزنی به سن کواترنر در شمال منطقه دیده می‌شوند. واریزه‌های سنگی سه واحد یاد شده در بالا بسیار در این واحد دیده می‌شوند.




**شکل ۱** جایگاه منطقه سرخه در نقشه زمین‌ساختاری ایران [۱۲] و بخشی از نقشه زمین‌شناسی تسوج در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ [۱۱].




**شکل۲** نمایی از ستون چینه‌شناسی عمومی میوسن در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج [۱۱] و ستون چینه‌شناسی سازند سرخ بالایی در منطقه سرخه.




**شکل ۳** تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از نهشته مس سرخه (در نور قطبیده صفحه ای، PPL). الف- دایک تزریق شده در واحد سازند سرخ بالایی (واحد $M^{sst}$)، ب- گسترش سرخ بالایی (واحد $M^{st}$) و خروج گدازه‌های بازی در راستای خط گسل، پ- مقطع نازکی از دایک لامپروفیری با شکل دروغین الیوین (Ol)، ت- پیریت فرامبوییدی با بافت تمشکی در زمینه ماسه‌سنگ، ث- انباشت پیریت‌های فرامبوییدی در فضای بین رسوبی، ج- انباشت کانی‌زایی سولفیدهای مس پیرامون کانی کوارتز در نمونه لامپروفیر ، چ- کانی‌زایی مس و بافت جانشینی سولفیدهای مس به جای پیریت‌های درونزادی، ح- جانشینی پیریت همزاد توسط کالکوسیت (بافت تمشکی کالکوسیت). علائم اختصاری به کار رفته (Ol=الیوین، Bn= بورنیت، Cct= کالکوسیت، Py= پیریت و Ccp= کالکوپیریت) برگرفته از مرجع [۱۸] هستند.

(۵) واحد دایک لامپروفیری هورنبلنددار آهکی قلیایی: این دایک به سن میوسن پایانی (۰/۱۱ ± ۹/۹۵)، واحدهای میوسن (سازند سرخ بالایی) را قطع نموده است [۱۹] (شکل ۳ الف). این دایک در ارتباط با تکامل کوهزاد زاگرس و فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس در شمال‌غرب ایران است که نشانگر مرحله پایانی بسته شدن تتیس تا برخورد قاره‌ای است. لامپروفیرها می‌توانند عامل کانی‌زایی برخی عناصر فلزات پایه و طلا باشند [۲۰]. بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که دایک منطقه دربردارنده کانی‌های مافیک آمفیبول و کلینوپیروکسن با ترکیب لامپروفیر اسپسارتینی است که به شدت دگرسان شده است [۱۹] (شکل ۳ پ). در شکل‌گیری این لامپروفیر، دو نوع گوشته دگرنهاده و سنگ کره ای نقش داشته که میزان مشارکت گوشته سنگ کره ای در اثر گوشته نوع OIB بیشتر بوده است. این دایک در اثر کشش در جایگاه زمین ساخت


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]
[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

برخوردی پسا برخوردی و در محیط غیرکوهزایی جایگیری نموده است [۱۹]. ترکیب این دایک در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج، دیوریت معرفی شده است [۱۶].

سازند سرخ بالایی از مهم‌ترین واحدهای آواری ترشیری است که اجزای تخریبی آن از کوه‌های مرتفع تامین شده و در حوضه‌های در حال فرونشست درون کوهستانی نهشت شده‌اند. این سازند در شرایط کم عمق و قاره‌ای گسترش یافته است [۲۱، ۲۲]. ضخامت سازند سرخ بالایی پیرامون بستان آباد - تسوج به ۱۵۰۰ متر و گاهی به بیش از ۲۰۰۰ متر می‌رسد. در منطقه سرخه، لایه‌های ماسه-سنگی سازند سرخ بالایی میزبان کانی‌زایی مس هستند (شکل-های ۱ و ۳ الف، ب). شیب این لایه‌ها در بخش‌های مختلف منطقه از ۲۰ تا ۹۰ درجه متغیر است. در بیشتر موارد، شیب اندازه‌گیری شده در این لایه‌ها در حدود ۳۵ درجه است. این ماسه‌سنگ‌ها دانه‌ریز بوده و غنی از کانی‌های اولیه مس هستند. در این سنگ‌ها، لای‌های کربن‌دار با ضخامت‌های در حد چند سانتی‌متر به صورت میان لایه حضور دارند. بخش غربی رشته کوه میشو در شمال و جنوب به ترتیب توسط گسل شمالی میشو و گسل تسوج محدود هستند. دایک لامپروفیری درون سنگ‌های رسوبی سیلیسی‌آواری میوسن تزریق شده و سازند سرخ بالایی را در منطقه سرخه قطع نموده است. برونزد این دایک عرضی در حد ۱ متر و طولی حدود ۳۰۰ متر دارد [۱۹].

**سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری**

کانی‌های آواری ماسه‌سنگ‌های مس‌دار شامل کوارتز، فلدسپار، زیرکن، مسکوویت و فسیل‌های گیاهی هستند. کلسیت و به مقدار جزئی دولومیت به شکل سیمان‌های درجازاد در زمینه ماسه‌سنگ‌ها وجود دارد. بررسی های سنگ‌نگاری نشان می‌دهند که کانه‌زایی گرمابی هیپوژن مس شامل کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدریت، کالکوسیت و کانی‌زایی برونزاد شامل کوولیت، مالاکیت، مس خالص، کوپریت و کمی آزوریت است. بافت‌های رایج قابل دیده در ماسه‌سنگ‌ها شامل پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده (فراوانی کانی‌سولفیدی در بین دانه‌ها تخریبی) [۲۳]، جانشینی و نا آمیختگی هستند.

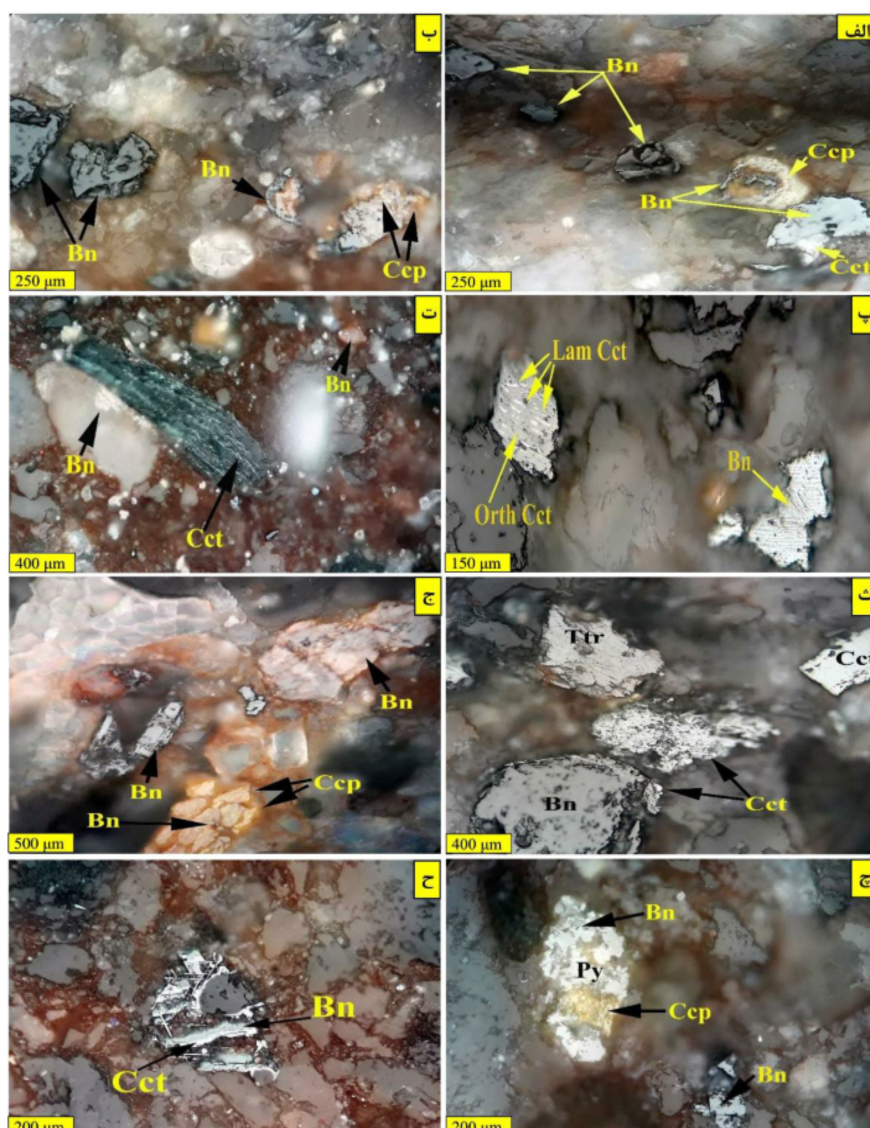
پیریت به صورت فرامبوئیدی و بافت تمشکی (شکل‌های ۳ ت و ث) به قطر از ۲۵ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر در فضای بین کانی‌ها و بلورهای شکل‌دار اولیه در ماسه‌سنگ‌ها و در ارتباط با مواد آلی تشکیل شده است. در ذخایر مس نوع لایه سرخ، در مرحله همزمان با سنگ زایی کمی پس از نهشت رسوب‌ها، پیریت تمشک مانند از ژل سولفیدی متبلور می‌شود [۲۴]. پس از نهشت پیریت مربوط به مرحله اولیه سنگ زایی و پیش از مرحله اصلی کانی‌زایی، نخستین فاز کانه‌زایی گرمابی (بورنیت، کالکوپیریت، تتراهدریت و کالکوسیت) رخ داده که پیرامون کانی‌های دایک لامپروفیری و در ماسه‌سنگ، جانشین ماده آلی و پیریت درونزادی شده است (شکل‌های ۳ ج تا ح). در ادامه مراحل کانی‌زایی طی سنگ زایی تدفینی، بورنیت جانشین کالکوپیریت و کالکوسیت جانشین بورنیت شده است (شکل‌های ۴ الف تا پ). در نتیجه حرکت‌های زمین ساختی یا وزن رسوب‌های بالایی، نوارهای ریزچین‌خورده کانی‌های سولفیدی چون کالکوسیت و بورنیت به درون رخ‌های مسکوویت نفوذ کرده و بافت رَخی ایجاد کرده است (شکل۴ ت). این ویژگی در کانسار جورامنتوی کانادا نیز دیده شده است [۲۵].

در گستره دمایی پیش‌بینی شده، کالکوسیت دو چندریخت دارد [۲۶]. کالکوسیت کم دما تا ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد پایدار است و در شرایط مختلفی تشکیل می‌شود که عبارتند از ۱) از محلول‌های درونزاد با دمای زیر ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد، ۲) از تغییر شکل بلورهای کالکوسیت تشکیل شده در دمای بیش از ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد و ۳) از محلول‌های برونزاد [۲۶]. کالکوسیت دما بالا از محلول‌های درونزاد بین ۱۰۳ تا ۴۳۵ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود [۲۷]. تشکیل دو بافت‌ریز در کالکوسیت را می‌توان به این چندریختها ربط داد [۲۶]. بافت تیغه‌ای شامل مجموعه‌های عدسی شکل به طول ۲۰۰ میکرومتر و عرض ۱ تا ۱۰ میکرومتر بوده که رنگ آنها از ناهمسانگردی بنفش مایل به آبی تا آبی کم رنگ متفاوت است (شکل ۴ پ). این بافت تیغه ای و الگوی بندبند موازی با صفحه‌های کانیایی (۰۰۰۱) وجود کالکوسیت ششگوشی پیشین را نشان می‌دهد که از آن به عنوان کالکوسیت دما بالا یاد می‌شود. ساختار کالکوسیت کم دما راستگوشی است. قطر بلورهای کالکوسیت در نمونه‌های مورد بررسی از ۱۰ تا ۵۰ میکرومتر متغیر است و ناهمسانگردی مشابهی دارند. کالکوسیت‌های کم دما و دما بالا در واحد ماسه‌سنگی $M^{sst}$ درمقاطع نازک- صیقلی دیده می‌شود. با توجه به وجود بافت تیغه ای، می‌توان گفت که دست کم بخشی از بلورهای کالکوسیت دما بالا هستند و خاستگاه درونزاد دارند.


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]
[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]

[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]




**شکل ۴** تصاویر میکروسکوپی از نهشته مس سرخه (نور PPL): الف- بافت جانشینی بورنیت به جای کالکوپیریت وکالکوسیت به جای بورنیت در کنار بورنیت اولیه، ب- بافت جانشینی بورنیت به جای کالکوپیریت و بورنیت‌های بی‌شکل در زمینه ماسه‌سنگ، پ- چند ریختی کالکوسیت در زمینه ماسه‌سنگ (کالکوسیت لایه ای و راستگوشی)، ت- نفوذ سولفید مس کالکوسیت درون رخ کانی ورقه‌ای در نتیجه همپوشی زمین ساختی، ث- بافت جانشینی بورنیت به جای کالکوپیریت در کنار بورنیت اولیه، ج- بافت جانشینی کالکوپیریت به جای پیریت و جانشینی بورنیت به جای کالکوپیریت، چ- بافت جانشینی صفحات رخی کالکوسیت به جای بورنیت، ح- بافت جانشینی کالکوسیت به جای بورنیت. علائم اختصاری به کار رفته (Ttr= تتراهدریت، Bn= بورنیت، Lam Cct= کالکوسیت لایه ای، Orth Cct= کالکوسیت راستگوشی Py= پیریت، Cpr= کوپریت و Ccp= کالکوپیریت) برگرفته از مرجع [۱۸] هستند.

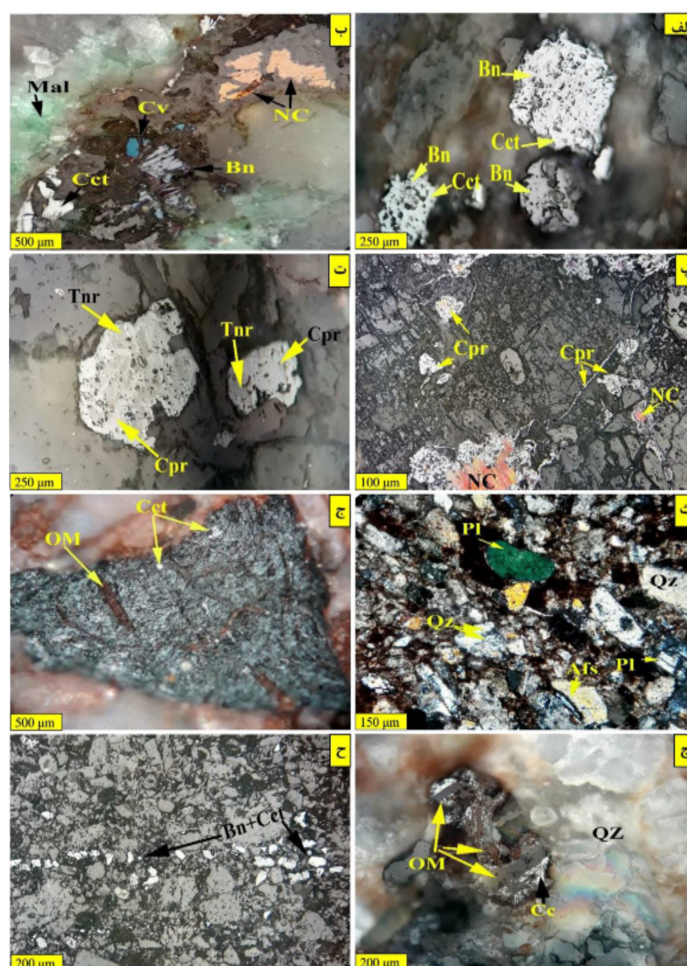
کانه سولفوسالت تتراهدریت با فراوانی کمتر همراه با کانی‌های سولفیدی مانند بورنیت و کالکوپیریت یافت می‌شود (شکل ۴ ث) که اغلب به صورت هم‌رشد با بورنیت است. پایداری نسبی بیشتر تتراهدریت نسبت به سایر سولفوسالت‌ها و فازهای سولفیدی مس سبب شده است که این کانی در انواع نهشته‌های مس رایج باشد [۲۸]. در اغلب نمونه‌های مورد بررسی، کالکوپیریت توسط بورنیت و کالکوسیت جانشین شده است (شکل‌های ۴ الف و ب). بلورهای دانه‌پراکنده کالکوپیریت در ماسه‌سنگ‌های سرخه بیشتر موارد بی‌شکل بوده و گاهی اندازه آنها به بیش از ۱۰۰ میکرومتر می‌رسد.

تیغه‌های درهم رشدی برآمده از برون رست کالکوپیریت و بورنیت (شکل ۴ ج) به صورت بلورهای اولیه بی‌شکل در مقاطع

[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]
[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

دیده می‌شوند. این دو کانه از نظر همبری بین پیریت و سولفیدهای مس چون کالکوسیت و کوولیت قرار دارند. در بسیاری از نهشته‌های دما پایین، کالکوپیریت و بورنیت به جای پیریت جانشین شده است [۲۹]. در منطقه سرخه نیز چنین جانشینی‌هایی دیده می‌شود (شکل ۴ چ). مجموعه غیر تعادلی پیریت- سولفید غنی از مس نیز شاهدی بر نهشت کانسنگ‌ها در شرایط دما پایین بدون اثر کاتاژنز و دگرگونی است [۳۱،۳۰].

دو نوع بافت ریز در مقاطع میکروسکوپی بین بورنیت و کالکوسیت دیده می‌شود که نتیجه جانشینی در راستای شکستگی‌ها (نوع ۱) و جانشینی توسط صفحات رخ (نوع۲) هستند (شکل‌های ۴ ح و ۵ الف). جانشینی توسط صفحات رخ نشانگر واکنش‌های برونزایی است [۳۲]، زیرا سیال داغ به احتمال بسیار فازهای اولیه چون کالکوپیریت را حل کرده و با تغلیظ مس موجب جانشینی فازهای اولیه با فاز غنی از مس چون کالکوسیت در طول درزه‌ها شده است (شکل ۴ ث). طی فرآیند هوازدگی و برونزایی، کانه‌های ثانویه از جمله تنوریت، کوپریت، مس خالص، کوولیت و مالاکیت جانشین کانه‌های اولیه چون کالکوسیت شده‌اند که سومین فاز کانی‌زایی است (شکل‌های ۵ ب تا ت). مس خالص در پایان رخدادهای برونزایی تشکیل شده است.




**شکل ۵** تصاویر میکروسکوپی از نهشته مس سرخه (نور PPL): الف- بافت جانشینی صفحات رخی بورنیت توسط کالکوسیت، ب- دگرسانی برونزادی در نمونه دایک لامپروفیری، پ- دگرسانی برونزادی و جانشینی مس خالص با کوپریت، ت- جانشینی برونزادی مس خالص با کوپریت و تنوریت، ث- پلاژیوکلاز دگرسان شده و خروج مس از شبکه بلوری آن، سیلیسی شدن (کوارتز رو رشدی و فلدسپارقلیایی) در زمینه ماسه‌سنگ، ج- جانشینی کالکوسیت در سلول‌های گیاهی، چ- جانشینی کالکوسیت به احتمال بسیار به جای قطعات چوب، ح- سیمان بین دانه‌ای کانه‌های بورنیت و کالکوسیت با بافت نواری. علائم اختصاری به کار رفته (Bn= بورنیت، Cct= کالکوسیت، Cpr= کوپریت، Tnr= تنوریت، NC= مس خالص، Mal= مالاکیت، Pl= پلاژیوکلاز، Afs= فلدسپار قلیایی و Qz= کوارتز) برگرفته از مرجع [۱۸] هستند.

با توجه به مطالب بیان شده در بالا، مراحل کانی‌زایی و تشکیل کانسنگ در ذخیره مس سرخه به شرح زیر است:

**مرحله فرسایش و هوازدگی**

یکی از رخدادهای زمین‌ساختی در ایران، فاز آتیکن (میوسن پسین- پلیوسن) است که نشانه‌های روشنی از چین‌خوردگی، دگرشکلی و گاه فعالیت ماگمایی در پهنه‌های ساختاری ایران داشته است. فعالیت ماگمایی به نسبت شدیدی در اثر فاز آتیکن در آذربایجان رخ داده است که وجود سنگ‌های آتشفشانی در نوار آتشفشانی سرخه - زنجیره و در مناطق دیگر پوسته آذربایجان و ایران مرکزی از آن جمله است. این فعالیت ماگمایی در آذربایجان به صورت جریان گدازه، توده‌های کوچک گنبدی و یا درون لایه‌های سرخ نوزا تظاهر دارد [۱۲]. در حوضه میوسن شمال و شمال‌غربی تسوج، رخنمون‌های سنگی پلیوسن شامل فعالیت‌های آتشفشانی دربردارنده گدازه‌های توده‌ای و جریانی و واحدهای آذرآواری (توف و آگلومرا) با سرشت شوشونیتی [۱۷]، گنبدهای داسیتی و آندزیتی [۳۳] هستند که در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی تسوج به سن پلیوکواترنر معرفی شده‌اند [۱۶]. فعالیت‌های گسل راستا لغز با کشش در پی این حرکت‌های فشاری، موجب خروج ماگماها و عناصر کانسنگ‌ساز از اعماق گوشته به سطح شده است. مقدار میانگین مس در این گدازه‌ها ۹۷ گرم در تن است [۱۷]. افزون بر این، فرسایش و هوازدگی این گدازه‌ها و دایک، منبع مناسبی برای عناصری چون مس و آهن بوده است. آزاد شدن مس و آهن به درون محلول‌ها سبب رخداد سرخ‌شدگی و تشکیل هماتیت در رسوب‌های لایه سرخ شده است. کانه‌های موجود در دایک لامپروفیری شامل سولفیدهای مس (کالکوسیت و بورنیت)، مس خالص، کوولیت و مالاکیت هستند که در زمینه سنگ به صورت پراکنده و اغلب در فضای پیرامون کانی‌ها توزیع شده‌اند (شکل ۵ ب).

**مرحله پیش از کانه‌زایی در رسوب‌های تخریبی**

بررسی های میکروسکوپی بیانگر وجود دو نسل پیریت در بخش‌های کانه‌زایی شده و اکسایشی ماسه‌سنگ‌های سرخ منطقه سرخه است که عبارتند از (۱) پیریت‌های درونزادی دانه‌ریز و (۲) پیریت‌های فرامبوئیدی. پیریت‌های دانه‌ریز و بی-شکل معمولاً به طور پراکنده در اندازه‌هایی ۱۰ تا ۱۵ میکرون دیده می‌شوند (شکل ۳ ت). پیریت‌های فرامبوئیدی اغلب به صورت انباشته‌های لکه‌ای شکل با اندازه‌هایی متغیر از ۲۵ میکرون تا ۱ میلی‌متر دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ ت، ث و ح). با توجه به بررسی های میکروسکوپی، پیریت‌های دانه‌ریز افشان و فرامبوئیدی ارتباط نزدیکی با ماده آلی دارند که نشان دهنده شرایط احیائی باکتریایی سولفات است. تصور می‌شود که هر دو نسل پیریت خاستگاه همزمان با درونزایی دارند و در مراحل اولیه، ماسه‌سنگ‌های سست همراه با ماده آلی تشکیل شده‌اند.

**مرحله تشکیل سولفیدهای آهن- مس و سولفیدهای مس (مرحله اصلی کانه‌زایی مس)**

کانه‌زایی مهم مس در منطقه سرخه شامل سولفیدهای افشان است. این سولفیدها، در سنگ‌های میزبان ماسه‌سنگی (به طور گسترده) و شیلی (به طور محدود) دیده می‌شوند. بر اساس بررسی های میکروسکوپی بر ماسه‌سنگ‌ها، سه شکل مختلف کانی‌زایی مس در منطقه سرخه دیده می‌شوند که عبارتند از ۱) دگرسانی (حفره‌های انحلالی) فلدسپارها در به احتمال بسیار دایک لامپروفیری و گدازه‌های مافیک (شکل ۵ ث) و ۲) جانشینی سولفیدهای دربردارنده مس در ساختارهای سلولی فسیل‌های گیاهی (به احتمال بسیار قطعه‌های چوبی و یا ماده آلی) (شکل‌های ۵ ج و چ) به صورت سیمان بین‌دانه‌ای (دانه پراکنده) که فضای پیرامونی دانه‌های آواری را پر کرده است (شکل ۵ ح). بافت دانه‌پراکنده و بافت جانشینی رایج‌ترین بافت‌های موجود در نهشته مس سرخه هستند. سولفیدهای مس (کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدریت و کالکوسیت) دسته (۱) در اثر فعالیت محلول‌های گرمابی تشکیل شده‌اند. این کانه‌ها مهم‌ترین سولفیدهای مسی هستند که در نهشته‌های گرمابی هیپوژن اولیه تشکیل می‌شوند [۳۴]. طی هوازدگی برونزاد، بسیاری دیگر از کانه‌های مس چون کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و مس خالص تشکیل شده‌اند. کوولیت کانه ثانویه بوده و در نتیجه دگرسانی سایر سولفیدهای مس از جمله کالکوسیت دسته (۱) تشکیل شده است. شرایط احیایی نیز می‌تواند در تشکیل و جانشینی کانه‌های سولفیدی مس محیط مناسبی برای ترسیب آنها ایجاد کند [۳۵]. وجود چنین محیطی موجب جانشینی کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت به جای فسیل‌های گیاهی و یا ماده آلی (شکل‌های ۳ چ، ۵ ج و چ) و جانشینی در پیریت (شکل‌های ۳ ح، ۴ چ) شده است. کالکوسیت دومین کانه فراوان پس از بورنیت بوده که طی دو نسل تشکیل شده است. کالکوسیت‌های نسل اول از نظر زایشی به بورنیت و کالکوپیریت شباهت دارند (زایش گرمابی؛ شکل-

های ۴ الف، ب، پ، ث و ج) و هر دو کانه به صورت سیمان بین دانه‌ای دیده می‌شوند (بافت نواری، شکل ۵ ح). این در حالی است که کالکوسیت‌های نسل دوم، فرآورده دگرسانی بورنیت توسط فرآیندهای برونزایی هستند (شکل‌های ۴ الف، ث، ح و ۵ الف).

کانه‌زایی مس با بافت بین‌دانه‌ای در منطقه مس سرخه، اغلب همراه با جانشینی فسیل‌های گیاهی (به احتمال بسیار قطعه‌های چوبی و مواد آلی) است. کانه‌زایی بورنیت نیز طی دو مرحله در منطقه رخ داده است که عبارتند از (۱) بورنیت با بافت دانه‌پراکنده در میان فضاهای خالی سنگ میزبان که طی فعالیت‌های گرمابی تشکیل شده است و (۲) بورنیت برآمده از دگرسانی کالکوپیریت که اغلب به صورت جانشینی در لبه‌های بلورها و سطوح رخ بلورهای کالکوپیریت دیده می‌شود. بورنیت نوع اول به دو رنگ مایل به صورتی و بنفش در مقاطع دیده می‌شود. بورنیت مایل به صورتی (شکل‌های ۳ ج، ۴ الف، ث و ج) اغلب غنی از گوگرد بوده و بورنیت بنفش فقیر از گوگرد و غنی از مس است (شکل‌های ۴ ب، ۵ الف و ب). در برخی نمونه‌ها، بورنیت‌های صورتی رنگ بافت درهم آمیختگی[1] نشان می‌دهند (شکل‌های ۴چ، ۵ الف). این حالت رخداد بورنیت می‌تواند شکل نیمه‌پایدار "مس طبقه‌های سرخ" باشد که با تبلور سریع در دماهای کم تشکیل شده است [۳۶، ۳۷]. این شکل میانبار کالکوپیریت بیشتر در اثر تبلور سریع در دمای پایین در کانسارهای مس نوع لایه سرخ و گرم شدن در پی آن به احتمال بسیار طی دفن عمیق و یا تغییر شکل‌های زمین‌ساختی به وجود می‌آید که سبب ایجاد بافت ناآمیختگی می‌شود.

**مرحله پس از تشکیل کانه‌ها**

پس از تشکیل کانه‌ها در مرحله پیش در ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ میزبان، انحلال فشاری کانی‌های سیلیکاتی موجب سیلیسی شدن (تشکیل کوارتز) و به مقدار بسیار کم فلدسپار پتاسیم شده است. این رخداد طی درونزایی پیشرفته (تدفین عمیق) حفظ شده و عاملی برای کاهش نفوذپذیری بوده است (شکل ۵ ث). درونزایی پیشرفته ممکن است همزمان با ادامه فعالیت‌های زمین ساختی گسل‌های موجود در منطقه رخ داده باشد (ایجاد درز و شکاف). شاهدی برای این فرضیه، حضور گسل‌های فعال در این ناحیه است. پیامدهای رخداد کوهزایی پاسادنین [۱۲] به شکل بالاآمدگی منطقه به حالت دوتایی فشاری در کوه‌های مورو و میشو [۳۸] و همچنین ادامه آن در بخش غربی منطقه سرخه تا شمال‌غربی ایران است. دگرسانی درونزادی با حضور فراوان کانی‌های ثانویه مانند مالاکیت و نیز اکسایش سطحی به‌صورت آغشتگی واحدهای سنگی به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و همچنین دگرسانی پیریت در مقاطع مورد بررسی آشکارا دیده می‌شود. دگرسانی درونزادی و اکسایش کانه‌های کالکوپیریت و بورنیت سبب تشکیل کانه‌های مالاکیت و کالکوسیت ثانویه شده است که به صورت جریان‌یافتگی مالاکیت در سطح کانی‌های دیگر قابل دیده است. در اثر فشار همه جانبه، کانی‌های ورقه‌ای چون مسکوویت و بیوتیت خمیده شده و کانی‌های غیرقابل انحلال مانند مواد آلی یا کانه سولفیدی در رخ‌ها یا میان این کانی‌ها پر شده‌اند [۲۵].

با توجه به موارد بیان شده و بررسی های کانه‌نگاری، می‌توان توالی همبری این نهشته را در شش مرحله خلاصه کرد که عبارتند از (جدول ۱): ۱) مرحله شستشو و هوازدگی ۲) فعالیت گرمابی (شوراب‌های گرم شده در اثر شیب زمین‌گرمایی) و مرحله همزمان با درونزایی (مرحله همزمان با رسوبگذاری، ته‌نشینی و تدفین کم‌عمق) ۳) مرحله درونزایی اولیه (عمق کم تا متوسط)، ۴) مرحله درونزایی پیشرفته (عمق تدفین زیاد)، ۵) اثر فعالیت‌های زمین ساختی و سرانجام ۶) دگرسانی برونزادی.

**خاستگاه**

معمولاً تصور بر این است که خاستگاه مس در کانه‌زایی نوع مس چینه‌سان رسوبی مربوط به درونزایی اولیه منابع غیرآذرین غیرکوهزاد است. از نظر بسیاری از پژوهشگران، خاستگاه آن شسته شدن اندکی مس از جزئی لایه‌های سرخ و یا سنگ‌های آتشفشانی با ماهیت دوگانه همراه است [۳۹-۴۲]. سنگ‌های آتشفشانی در کنار طبقه‌های سرخ مورد بررسی و همچنین تزریق دایک لامپروفیری (مرحله نهایی فعالیت آتشفشانی) درون این لایه‌ها می‌تواند در تامین احتمالی مس و عناصر دیگر برای کانه‌زایی مس سرخه نقش داشته باشد. بنابراین، هوازدگی و فرسایش این سنگ‌ها در طولانی مدت موجب آزاد شدن مس موجود در شبکه کانی‌های مختلفی از جمله بیوتیت، پیروکسن، هورنبلند، فلدسپار، مسکوویت و مگنتیت به شکل مجموعه‌های فلزی- آلی قابل‌حل توسط محلول‌های اکسایشی به درون محیط‌های رسوبی در این حوضه‌ها شده است [۴۳]. بررسی-

1 - Intergrowth weave


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]
[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

های میکروسکوپی نشان از بازتحرک مس دارند که می‌توان به جانشینی کانه‌های درونزاد در طول مرزها (به ویژه الگوی لبه-ای) توسط کالکوسیت و نقاط کالکوسیتی نامنظم اشاره کرد. مس خالص و مالاکیت نیز فرآورده فرآیندهای برونزایی هستند [۴۴]. در برخی مقاطع، کالکوسیت همراه با اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن دیده می‌شود که نشانه تشکیل آنها طی فرآیند غنی‌شدگی برونزایی است.

**زمین‌شیمی**

**زمین‌شیمی عناصر جزئی:** بررسی های انجام شده نشان داده است که در کانسارهای مس رسوبی، عیار متوسط مس ۱٫۶ درصد است و ذخیره کانسنگ به ۱۶۰۰ میلیون تن می‌رسد [۴۵]. با توجه به ۱۰ نمونه بررسی شده از لایه‌های ماسه‌سنگی دربردارنده کانی‌زایی، مقدار مس در گستره ۲۳ گرم در تن تا ۲٫۵ درصد وزنی (با مقدار میانگین ۰٫۲۷ درصد وزنی) در تغییر است. مقدار عنصر روی دارای گستره حدود تغییرات ۱۶ تا ۹۳ گرم در تن است. بیشینه مقدار سرب در این لایه‌های ماسه-سنگی به ۲۹ گرم در تن می‌رسد. بررسی همبستگی پیرسون بین عناصر جزئی نشان می‌دهد که مس قوی‌ترین همبستگی را با عنصر Ag (۰٫۹۹)، S (۰٫۹۷) و همبستگی متوسطی با Mo (۰٫۶۶) و آرسنیک (۰٫۶۷) دارد. همبستگی مثبت قوی بین Cu با Ag به احتمال بسیار به انباشت نقره در کانه‌های مس از جمله کالکوسیت را اشاره دارد. قوی‌ترین همبستگی منفی را مس با عنصر Zn (۰٫۸۳-) دارد. Ni و Cu دارای همبستگی منفی (۰٫۴۲-) هستند که دلیل آن می‌تواند رفتار زمین-شیمیایی متفاوت این دو عنصر در دماهای پایین باشد [۴۶]. همچنین، این همبستگی منفی نشان می‌دهد که Ni در سولفیدهای مس دما پایین چون کالکوسیت و بورنیت غنی از گوگرد تمرکز نیافته است [۴۶]. Ni با عنصر As نیز همبستگی منفی (۰٫۶۸-) دارد. بر پایه محاسبات انجام شده، Ag با S و Mo قوی‌ترین همبستگی‌های مثبت را نشان می-دهد (به ترتیب ۰٫۹۷ و ۰٫۶۶). Ag کمترین همبستگی را با Zn نشان می‌دهد (۰٫۸۳).

**جدول ۱** مراحل تشکیل و توالی همبرزایی کانه‌ها در ذخیره مس سرخه.

| توالی‌های پاراژنزی/کانی‌ها | فرایندهای کانی‌زایی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مرحله ۱ | مرحله پیش‌کانسنگی | | مرحله اصلی و پس‌کانسنگی | | | |
| | هوازدگی و شسته‌شدگی | همزمان با دیاژنز | دیاژنز آغازین | دیاژنز پیشرفته | زایش گرمابی | منقوش‌شدگی تکتونیکی | دگرسانی هیپوژن |
| آزاد شدن مس | ■ | | | | | | |
| سرخ‌شدگی (اکسید آهن) | | ■ | ■ | | | | |
| تجزیه ماده آلی | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| انحلال و ایجاد تخلخل | | | ■ | ■ | | | |
| شکستگی | | | | ■ | | ■ | |
| پیریت فرامبوییدال | | ■ | | | | | |
| پیریت افشان | | ■ | ■ | | | | |
| کالکوپیریت | | | | | ■ | | |
| بورنیت | | | | | ■ | | |
| تتراهدریت | | | | | ■ | | |
| کالکوسیت (۱) | | | | | ■ | | |
| فشردگی | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| سیلیس | | | ■ | ■ | | | |
| کالکوسیت (۲) | | | | | | | ■ |
| مس خالص | | | | | | | ■ |
| کوپریت | | | | | | | ■ |
| کوولیت | | | | | | | ■ |
| مالاکیت | | | | | | | ■ |
| آزوریت | | | | | | | ■ |
| گوتیت | | | | | | | ■ |

رخداد مس سرخه بخشی از کمربند کانی‌زایی مس با سنگ میزبان رسوبی شمال‌غرب ایران است که با مقادیر به نسبت بالای Cu، Ag، Hg، As و مقادیر بالا Zn، Co و Ni پهنه‌های کانه‌دار شناخته می‌شود (جدول ۲). ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ذخیره مس سرخه شباهت به نهشته‌های مس نوع لایه سرخ دارد. تحرک یون $Fe^{2+}$ با مقادیر چند گرم در تن توسط آب‌های زیرزمینی رسوب‌های لایه سرخ عادی است و آنها می‌توانند سیال کانسنگ‌ساز بالقوه‌ای باشند [۳۶، ۴۷، ۴۸]. لایه‌های سرخ با داشتن رنگدانه‌های هماتیتی و به عبارتی تامین یون $Fe^{2+}$ می‌توانند نقش موثری در افزایش امکان انحلال مس داشته باشند. تحرک فلزات مختلف در لایه‌های سرخ وابسته به تغییر شیمی محلول‌ها بویژه درجه اسیدی (pH) و پتانسیل اکسایش -کاهش (Eh) است [۳۶، ۴۹]. از نظر زمین‌شیمیایی، ورود مس و نقره در دماهای پایین و کبالت در دماهای بالا درون سیال‌ها امکان‌پذیر است [۳۶]. انحلال عنصر روی وابسته به pH است، حال آنکه Eh نقش مهمی در انحلال نقره دارد [۴۹] و در pH برابر یا کمتر از ۸، روی به شکل $ZnSO_4$ محلول است. بنابراین، مقادیر به نسبت بالای Cu، Ag، Hg، As و مقادیر بالای Zn، Co و Ni (جدول ۳) نشان می‌دهد که سیال‌ها بسیار اکسایشی، غنی از کلرید و دمای پایین تا بالا، به احتمال بسیار مسؤول کانه‌زایی در ذخیره مس سرخه بوده‌اند. کانه‌زایی در نهشته مس رسوبی به ویژگی‌های منبع فلزات و تحرک نسبی فلزات این منبع بستگی دارد [۴۹]. با توجه به ضخامت به نسبت بسیار رسوب‌های لایه سرخ در ذخیره مس سرخه، به احتمال بسیار سنگ‌های آتشفشانی با سرشت شوشونیتی به همراه دایک لامپروفیری تزریق شده درون این لایه‌های سرخ اثر به سزایی در ترکیب شیمیایی محلول‌های کانه‌ساز داشته‌اند.

**عناصر خاکی نادر:** داده‌های عناصر خاکی نادر (REE) ماسه‌سنگ‌های سرخ مس‌دار سرخه نسبت به ترکیب کندریت [۵۰] و شیل آمریکای شمالی (NASC) [۵۱] بهنجار شده‌اند (شکل ۶). بر اساس این الگوها، نسبت‌های بالای عناصر خاکی نادر سبک به سنگین (LREE/HREE) و ناهنجاری مثبت Eu در نمونه‌های مس سرخه نشان دهنده دگرسانی فلدسپار توسط سیال‌های در حال حرکت است [۵۲]. پایین بودن مقادیر HREEها نسبت به NASC حضور قابل ملاحظه فازهای کانیایی با مقادیر REE کم نظیر کوارتز در نمونه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد [۵۳] (شکل ۶ ب). رخداد ناهنجاری منفی Ce در الگوی توزیع REEهای بهنجار شده به NASC دلیلی بر نقش ارزنده محلول‌های اکسایشی غنی از کلرید در تشکیل کانسنگ‌های مس سرخه است. [۴۳]. افزون بر این، نمونه‌های منطقه سرخه که از رخنمون‌های سطحی برداشت شده‌اند دستخوش فرآیند دگرسانی برونزاد با ماهیت سیال‌های اکسایشی شده‌اند [۵۴]. رسوب‌های ناشی از قسمت‌های درونی کراتون و رسوب‌های نهشت شده حوضه کراتونی به شدت از نظر LREEها غنی شده و عناصر خاکی نادر متوسط (MREEها) و سنگین (HREEها) شیب به نسبت کمی دارند که به احتمال بسیار منبع آذرین ناحیه را نشان می‌دهند [۵۵].

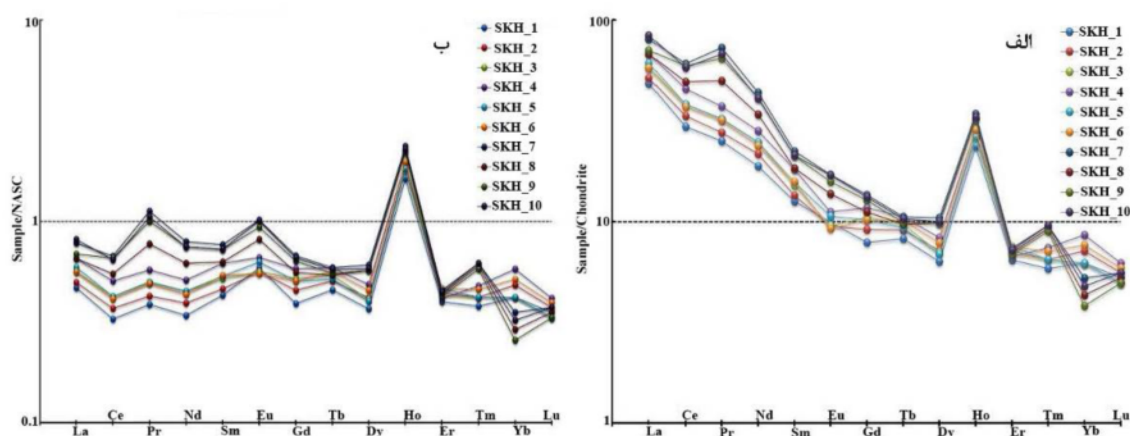
**جدول ۲** نتایج تجزیه XRF در چهار نمونه ماسه‌سنگی مس‌دار در سرخه. bdl = زیر حد آشکارسازی.

| | حدآشکارسازی | SKH_1 | SKH_2 | SKH_3 | SKH_4 |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ (wt%) | ۰/۰۱ | ۴۵/۶۴ | ۴۴/۰۳ | ۴۷/۱۷ | ۴۸/۵۲ |
| $Al_2O_3$ | ۰/۰۱ | ۱۴/۵۷ | ۱۲/۳۳ | ۱۴/۷۰ | ۱۳/۰۱ |
| $Fe_2O_3$ | ۰/۰۱ | ۹/۴۰ | ۵/۲۶ | ۸/۰۴ | ۹/۶۲ |
| CaO | ۰/۰۱ | ۶/۶۳ | ۱۲/۴۵ | ۶/۴۹ | ۴/۱۹ |
| $Na_2O$ | ۰/۰۱ | ۳/۳۶ | ۴/۲۸ | ۲/۸۵ | ۳/۴۲ |
| $K_2O$ | ۰/۰۱ | ۳/۷۷ | bdl | ۲/۴۱ | ۲/۲۳ |
| MgO | ۰/۰۱ | ۸/۲۹ | ۳/۱۸ | ۹/۳۸ | ۱۱/۱۳ |
| $TiO_2$ | ۰/۰۱ | ۱/۲۴ | ۱/۰۳ | ۱/۳۱ | ۱/۱۶ |
| MnO | ۰/۰۱ | bdl | bdl | bdl | bdl |
| $P_2O_5$ | ۰/۰۱ | ۰/۶۶ | ۰/۴۴ | ۰/۷۲ | ۰/۶۴ |
| مواد فرار(L.O.I) | - | ۶/۴۳ | ۹/۵۷ | ۶/۹۳ | ۵/۹۶ |
| مجموع | - | ۹۹/۹۹ | ۹۲/۵۷ | ۱۰۰/۰۰ | ۹۹/۸۸ |


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]
[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

**جدول ۳** نتایج تجزیه عناصر جزئی و عناصر خاکی نادر به روش ICP-MS و تجزیه پنج عنصر جزئی دیگر مشخص شده به روش AA [۱]. (n.d. = تعیین نشده و × = عناصری که به روش AA اندازه‌گیری شده‌اند).

| | حدآشکارسازی | SKH_1 | SKH_2 | SKH_3 | SKH_4 | SKH_5 | SKH_6 | SKH_7 | SKH_8 | SKH_9 | SKH_10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ag (ppm) | ۰٫۱ | ۰٫۳ | ۱۸٫۷ | ۰٫۵ | ۰٫۱ | n.d. | n.d. | n.d. | ۰٫۲ | n.d. | ۰٫۱ |
| As | ۰٫۱ | ۱۵٫۹ | ۲۰٫۶ | ۱۲٫۱ | ۱۱٫۲ | ۶٫۳ | ۲٫۹ | ۲٫۹ | ۴٫۳ | ۷ | ۱۱٫۸ |
| Co | ۱ | ۲۵٫۴ | ۱۴٫۶ | ۲۰٫۵ | ۲۰٫۹ | ۲۷٫۵ | ۲۳٫۶ | ۳۱٫۱ | ۲۹٫۸ | ۹۲٫۲ | ۳۰٫۵ |
| Cu | ۱ | ۵۰۴ | ۲۵۳۳۸ | ۶۰۱ | ۱۳۹ | ۲۳ | ۲۰۴ | ۳۶ | ۴۰ | ۵۹ | ۴۸ |
| Mn | ۵ | ۵۷۹ | ۶۵۰ | ۵۶۶ | ۵۴۴ | ۸۰۱ | ۹۴۹ | ۱۰۱۱ | ۱۱۵۵ | ۱۰۵۴ | ۹۱۴ |
| Mo | ۰٫۱ | ۱٫۶ | ۱٫۶ | ۰٫۳ | ۰٫۲ | ۰٫۳ | n.d. | n.d. | ۰٫۲ | n.d. | n.d. |
| Ni | ۱ | ۱۴۱ | ۱۱۹ | ۱۲۶ | ۱۲۴ | ۲۹۸ | ۲۳۳ | ۳۸۰ | ۳۴۹ | ۳۶۶ | ۳۷۲ |
| Pb | ۱ | ۹ | ۶ | ۴ | ۶ | ۹ | ۶ | ۵ | ۷ | ۱۱ | ۲۹ |
| U | ۰٫۱ | ۱٫۷ | ۲٫۸ | ۱٫۲ | ۱٫۶ | ۱٫۱ | ۱٫۵ | ۱ | ۱٫۲ | ۱٫۰۲ | ۱٫۲ |
| Zn | ۱ | ۹۳ | ۱۶ | ۹۰ | ۵۹ | ۶۹ | ۶۳ | ۶۵ | ۷۲ | ۶۶ | ۷۱ |
| La (ppm) | ۱ | ۲۵ | ۲۱ | ۲۲ | ۲۶ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۸ | ۲۱ | ۱۹ | ۱۸ |
| Ce | ۰٫۵ | ۴۹ | ۴۰ | ۴۸ | ۴۷ | ۲۴ | ۲۷ | ۳۱ | ۳۷ | ۳۱ | ۳۰ |
| Pr | ۰٫۰۵ | ۸٫۹ | ۶٫۱ | ۷٫۹ | ۸٫۳ | ۳٫۰۷ | ۳٫۳۷ | ۳٫۹۳ | ۴٫۵۵ | ۳٫۹۷ | ۳٫۸۸ |
| Nd | ۰٫۵ | ۲۶٫۲ | ۲۰٫۵ | ۲۴٫۸ | ۲۴٫۶ | ۱۱٫۳ | ۱۳ | ۱۴٫۹ | ۱۶٫۹ | ۱۴٫۹ | ۱۴٫۳ |
| Sm | ۰٫۰۲ | ۴٫۳۷ | ۳٫۵۹ | ۴٫۱۳ | ۴٫۱۶ | ۲٫۴۶ | ۲٫۶۴ | ۲٫۹۶ | ۳٫۵۴ | ۳٫۰۶ | ۳٫۰۸ |
| Eu | ۰٫۱ | ۱٫۲۶ | ۱٫۰۱ | ۱٫۱۶ | ۱٫۲۵ | ۰٫۷۳ | ۰٫۷ | ۰٫۷ | ۰٫۸۲ | ۰٫۷۸ | ۰٫۶۸ |
| Gd | ۰٫۰۵ | ۳٫۵۱ | ۲٫۹ | ۳٫۳ | ۳٫۴۳ | ۲٫۰۴ | ۲٫۳۷ | ۲٫۷۲ | ۳٫۰۴ | ۲٫۶۴ | ۲٫۶۴ |
| Tb | ۰٫۱ | ۰٫۵ | ۰٫۴۶ | ۰٫۴۷ | ۰٫۴۹ | ۰٫۳۹ | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۶ | ۰٫۵ | ۰٫۴۴ | ۰٫۴۸ |
| Dy | ۰٫۰۲ | ۳٫۳۷ | ۳٫۱۷ | ۳٫۱۶ | ۳٫۲۳ | ۲٫۰۴ | ۲٫۳۲ | ۲٫۲۷ | ۲٫۶۹ | ۲٫۲۳ | ۲٫۵۲ |
| Y | ۰٫۵ | ۱۰٫۵ | ۱۰ | ۹٫۳ | ۱۰٫۱ | ۱۰٫۲ | ۱۲٫۴ | ۱۱٫۹ | ۱۴٫۵ | ۱۱٫۷ | ۱۲٫۶ |
| Ho | ۰٫۲ | ۲٫۴۶ | ۲٫۳۲ | ۲٫۳ | ۲٫۳۷ | ۱٫۸۸ | ۱٫۹۱ | ۱٫۸۶ | ۲٫۱۷ | ۱٫۸۲ | ۲٫۰۵ |
| Er | ۰٫۰۵ | ۱٫۵۵ | ۱٫۴۸ | ۱٫۴۴ | ۱٫۵۱ | ۱٫۳۶ | ۱٫۵ | ۱٫۴۶ | ۱٫۶۶ | ۱٫۴۱ | ۱٫۵۸ |
| Tm | ۰٫۱ | ۰٫۳۱ | ۰٫۳ | ۰٫۲۹ | ۰٫۳۱ | ۰٫۱۹ | ۰٫۲۱ | ۰٫۲۱ | ۰٫۲۴ | ۰٫۲۱ | ۰٫۲۳ |
| Yb | ۰٫۰۵ | ۱٫۱ | ۰٫۹ | ۰٫۸ | ۱ | ۱٫۳ | ۱٫۵ | ۱٫۳ | ۱٫۸ | ۱٫۳ | ۱٫۶ |
| Lu | ۰٫۱ | ۰٫۸ | ۰٫۱۷ | ۰٫۱۶ | ۰٫۱۸ | ۰٫۱۷ | ۰٫۱۸ | ۰٫۱۶ | ۰٫۲ | ۰٫۱۶ | ۰٫۱۹ |
| Eu/Eu* | – | ۰٫۹۸ | ۰٫۹۵ | ۰٫۹۶ | ۱٫۰۱ | ۰٫۹۹ | ۰٫۷۲ | ۰٫۷۵ | ۰٫۷۶ | ۰٫۸۴ | ۰٫۸۵ |
| Ce/Ce* | – | ۰٫۷۸ | ۰٫۸۴ | ۰٫۸۷ | ۰٫۷۶ | ۰٫۸۰ | ۰٫۸۲ | ۰٫۸۴ | ۰٫۸۷ | ۰٫۸۱ | ۰٫۸۴ |
| LREE/HREE | - | ۴٫۸۶ | ۴٫۲۳ | ۵٫۰۷ | ۴٫۹۱ | ۲٫۸۷ | ۲٫۷۳ | ۳٫۱۹ | ۳٫۱۱ | ۳٫۳۰ | ۲٫۹۵ |
| ∑REE | - | ۱۳۸٫۸۳ | ۱۱۳٫۹ | ۱۲۹٫۲۱ | ۱۳۳٫۹۳ | ۷۶٫۱۳ | ۸۵٫۸۴ | ۹۴٫۲۸ | ۱۱۰٫۶۱ | ۹۴٫۶۲ | ۹۳٫۸۳ |
| | DL | R-1 | R-2 | R-3 | R-4 | R-5 | R-6 | R-7 | R-8 | R-9 | R-10 |
| Au* (ppb) | ۵ | n.d. | ۸ | ۱۰۴ | ۱۰ | ۱۳ | ۱۷ | ۱۲ | ۱۲ | n.d. | ۱۵۰۰ |
| Hg* (ppm) | ۰٫۱ | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | ۱۵۰۰ | n.d. |
| Cu* (ppm) | ۱ | ۲۰ | ۱۲۰ | ۶۱۳۰۰ | ۹۹۹۰۰ | ۹۸۷۰۰ | ۲۳۲۷۷ | ۵۹۶۶ | ۵۵۹ | ۲۵۰۰۰ | n.d. |
| Zn* (ppm) | ۱ | ۱۳ | ۳۰ | ۶۵۰ | ۴۵۰ | ۴۰۰ | ۱۵۵ | ۹۲ | ۷۱ | n.d. | n.d. |
| Ag* (ppm) | ۰٫۱ | n.d. | n.d. | ۴۴ | ۳۷ | ۲۸ | ۲۰٫۱۵ | ۵٫۲۷ | ۵٫۵۱ | n.d. | n.d. |




**شکل ۶** الگوی توزیع عناصر خاکی نادر بهنجار شده به کندریت [۵۰] (الف) و ترکیب شیل آمریکای شمالی (NASC) [۵۱] (ب) در نمونه‌های ماسه‌سنگی مس‌دار سرخه.


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]
[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

**برداشت**

مهم‌ترین نتایج به دست آمده از بررسی کانی‌شناسی و زمین-شیمی ماسه‌سنگ‌های مس‌دار منطقه سرخه عبارتند از:

۱) کانه‌زایی مس سرخه در لایه‌های سرخ ماسه‌سنگی سازند سرخ فوقانی به سن میوسن رخ داده است. سنگ‌های میزبان در یک محیط زیرآبی و کم عمق تشکیل شده‌اند. الگوهای REEها نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های مس دار سرخه برآمده از فرسایش سنگ‌های فلسی پوسته بالایی قاره‌ای هستند. افزون بر این، ناهنجاری منفی Ce بیانگر نقش مهم محلول‌های اکسایشی غنی از کلرید در تشکیل کانسنگ-های مس رسوبی مورد بررسی است.

۲) پهنه‌های کانه‌دار دارای ارتباط نزدیکی با مواد آلی (قطعه-های فسیل چوب) در لایه‌های تراوا هستند. تخلخل و تراوایی عامل اصلی جریان سیال‌ها و توزیع کانه‌زایی‌های مختلف است. طی درونزایی اولیه، سولفیدهای Cu-Fe و Cu چون بورنیت و کالکوسیت جانشین پیریت شده‌اند. این کانه‌ها بعدها طی فرایندهای برونزایی توسط کوولیت، کوپریت، مس خالص و مالاکیت جانشین شده‌اند.

۳) وجود کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و حفظ شدگی خوب بافت مواد آلی، فراوانی کالکوسیت و بورنیت غنی از گوگرد، مقدار زیاد نقره و جیوه نشانگر تشکیل مس سرخه توسط محلول‌های گرمابی و درونزاد اولیه و محلول‌های کم دما هستند. وجود بافت‌های جانشینی و افشان دلیلی بر خاستگاه روزادی (گرمابی)-درونزادی رخداد مس سرخه هستند.

۴- بیشترین ضریب همبستگی در میان عناصر غنی شده (Ag، Mo و As ) وجود دارد که این امر به احتمال بسیار خاستگاه زمین‌شیمیایی مشترک این عناصر را نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر ضریب همبستگی مس با عناصر گوگرد دوستی چون Ag است که این امر دلیلی بر انباشت نقره در کانه‌های مس از جمله کالکوسیت است.

**قدردانی**

پژوهندگان این مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه برخودار بوده‌اند، که به این وسیله نهایت سپاس و خود را از مسؤولین آن اعلام می‌دارند. نگارندگان همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

**مراجع**

[1] Aghazadeh M., Badrzade Z., "*Sediment hosted Cu mineralization periods in Iran*", 29th Meeting of Geological Sciences, Geological Survey of Iran (2010).

[2] Sadati N., Yazdi M., Mao J., Behzadi M., Adabi M. H., Lingang X., Zhenyu C., Mokhtari A. A., *"Sulfide mineral chemistry investigation of sediment hosted stratiform copper deposits, Nahand-Ivand area, NW Iran"*, Ore Geology Review 72 (2016) 760-776.

[3] Azizi H., Hosseinzadeh M. R., Moayyed M., Siahcheshm K., *"Geology and geochemistry of the sediment-hosted stratabound red bed-type Cu-Pb (Zn-Ag) mineralization in the Dozkand-Moshampa area, NW Zanjan, Iran",* Journal of Mineralogy and Geochemistry 195 (2018) 123-143.

[4] Bikdeli Z., Ebrahimi M., Nabatian G., Mokhtari M. A. A.,*"Ore mineralization, structure and texture of Cherhr-Abad sedimentary copper ore deposit, northwest of Zandjan area",* Scientific Quarterly Journal, Geosciences 96 (2015) 249-262.

[5] *Enayati Kolaie S., Yazdi M., Mokhtari M. A. A., "Geology, mineralogy and genesis of stratiform Cu mineralization in the Tazeh-Kand area, northeast of Tabriz",* Scientific Quarterly Journal, Geosciences 95 (2016) 195-208.

[6] Azaraien H., Honarmand M., Shahriyari H., Noori M., "*Consideration of the Kupferschiefer type Cu-Ag sedimentary metalogenesis in the north of Kerman, case study: Ravar Markeshe mine*", The 25th Symposium of Geological survey of Iran (2007).

[7] Mahdavi A., Rastad E., Hosseini M., "*Geological, mineralogical, geochemical and genesis of Markesheh copper deposit, northwest of Ravar, Kerman*", Unpublished MSc thesis, Kharazmi University (2009).

[8] Hendi R., Hassani Pak A. A., "*Identification of host rock source at sediment-hosted copper type mineralization in Tabas-Ravar basin based on geochemical and petrography studies*", Quarterly Journal, Geosciences (2014) 211-220.

[9] Agazadeh M., Fard M., "*Comprehensive assessment report of copper index of Chehregan, Tasuj,*" Minerals Insurance Fund of the Country (2006).

[10] Agazadeh M., Fard M., "*Comprehensive assessment report of copper index of Anakhaton, Tabriz,*" Minerals Insurance Fund of the Country (2010).

[11] Naghizadeh R., Shiva A., Dori M., Riazi N., "*Field survey of copper mineralization in Tasuj area of East Azarbaidjan*", 26th Conference of Earth Science, Geological Survey of Iran (2007).

[12] Aghanabati A., "*Geology of Iran*", Geological Survey of Iran (2004) 1-619.

[13] Nabavi M. H., "*An introduction to the geology of Iran*", Geological Survey of Iran (1976) 1-109.

[14] Saccani E., Azimzadeh Z., Dilek Y., Jahangiri A., "*Geochronology and petrology of the early carboniferous Misho mafic complex (NW Iran), and implications for the melt evolution of Paleo-Tethyan rifting in Western Cimmeria*", Lithos (2013) 264-278.

[15] Eftekharnejad J., Ghorashi M., Mehrparto M., Arshadi S., Zohrehbakhsh A., Bolourchi A., Saidi A., "*Geological map of Tabriz*-Poldasht", 1:250000 scale", Geological Survey of Iran, Tehran (1989).

[16] Khodabandeh A. A., Aminifazl A., "*1:100000 Geological Map of Tasuj",* Geological Survey of Iran, Tehran (1993).

[17] Amiri H., Amel N., Moayyed M., "*Mineralogy, petrology and petrogenesis of Sorkhe-Zanjire volcanic band, west of Marand, NW Iran"*, 20th Symposiun of Iranian Geological Society, Tehran University (2018).

[18] Whitney D. L., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals",* American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[19] Aghazadeh M., Prelevic′ D., Badrzdaeh Z., Braschi E., Van den Bogaard P., Conticelli S., "*Geochemistry, Sr-Nd-Pb isotopes and geochronology of amphibole-and mica-bearing lamprophyresin northwestern Iran: Implications for mantle wedge heterogeneity in a paleo-subduction zone",* Lithos 2016 (2015) 352-396.

[20] Seifert T., *"Metallogeny and petrogenesis of Lamprophyres in the Mid-European Variscides"*, IOS press (2008) 1-303.

[21] Rahimzadeh F., 1994. *"Treatise on the geology of Iran, Oligocene, Miocene, Pliocene*", Geological Survey of Iran (1994) 1-311.

[22] Amini, A., *"Red coloring of the Upper Red Formation in central part of its basin, Central Zone Iran*", Journal of Science of Islamic Republic of Iran 12 (2001) 145-156.

[23] Dewaele S., Muchez P., Vets, J., Fernandez-Alonzo M., Tack L., "*Multiphase origin of the Cu-Co ore deposits in the western part of the Lufilian fold-and-thrust belt, Katanga (Democratic Republic of Congo*", Journal of African Earth Sciences 46 (2006) 455-469.

[24] Love L. G., Brockley H., *"Peripherial radial texture in framboids of poly-framboidal pyrite"*, Fortschritte der Mineralogie 50 (1973) 264-269.

[25] Durieux C. G., Brown A. C., *"Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper–silver deposit, Salta district, northwestern Argentina"*, Mineralium Deposita 42 (2007) 879-889.

[26] Ramdohr P., *"The ore minerals and their intergrowths."* Pergamon Press, Oxford (1969).

[27] Posfai M., Buseck P., *"Djurleite, digenite, and chalcocite; intergrowths and transformations."* American Mineralogist 79 (1994) 308-315.

[28] Seal R. R., Essene E. J., Kelly W. C., *" Tetrahedrite and tennantite: Evaluation of thermodynamic data and phase equilibria".* Canadian Mineralogist 28 (1990) 725-738.

[29] Lurie A. M., *"Alteration of ores by epigenesis and metamorphism at copper deposits hosted in red beds"*, Soviet Geology 289 (2011) 31-38.

[30] Shumilov I. K.,*"Copper sufide peudomorphs after pytodetritus in Devonian sdimentary rcks of the Middle Timan rgion"*, Geology of Ore Deposits 50 (2008) 763-771.

[31] Pękala M. M., Asael D., Butler I., Matthews A., Rickard D., "*Experimental study of Cu isotope fractionation during the reaction of aqueous Cu(II) with Fe(II) sulphides at temperatures between 40 and 200 °C*", Chemical Geology 289 (2011) 31-38.

Pollington N., Barra F., *"A new look at the geology of Zambian copper belt"*, In: Economic Geology 100th Anniversary 1905-2005; Hedenquist J. W., Thompson J. F. H., Goldfarb R. J., Richards J. P., Eds, Society of Economic Geologists, Inc, Littleton, USA (2005) 965-1000.

[43] Walker T. R., *"Formation of red beds in modern and ancient deserts"*, Geological Society of America, Bulletin 78 (1976) 281-282.

[44] Munchez P., Corbella M., *"Factros controlling the precipitation of copper and cobalt minerlas in sediment-hosted ore deposits: Advances and restrictions",* Journal of Geochemical Exploration 118 (2012) 38-46.

[45] Cox D. P., Lindsey D. A., Singer D. A., Diggles M. F., *"Sediment-hosted copper deposits of the world: deposit models and database."* U.S. Geological Survey, Open-file report (2013), N. 03.

[46] Dill H. G., *"The chessboard classification scheme of mineral deposits: mineralogy and geology from aluminum to zirconium"*, Earth-Science Reviews 100 (2010) 1-42.

[47] Cook N., Ciobanu C. L., Danyushevsky L. V., Gilbert S., *"Minor and trace elements in bornite and associated Cu-(Fe)-sulfides: A LA-ICP-MS study"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 75 (2011) 6473-6596.

[48] Hitzman M. W., Kirkham R., Broughton D., Thorson J., Selley D., *"The sediment hosted stratiform copper ore system"*, Economic Geology 100 (2005) 609-642.

[49] Brown A. C., *"Low-temperature sediment-hosted copper deposits*", In: Earth Systems and Environmental Sciences, from Treatise on Geochemistry (Second Edition) 13 (2014) 251-271.

[50] Boynton W. V., *"Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies"*, In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element GeochemistryDevelopments in Geochemistry 2 (1984) 63-114.

[51] Gromet L. P., Dymek R. F., Haskin L. A., Korotev R. L., *"The North American shale composit*: its compilation, major and trace element characteristics", Geochimica et Cosmochimica Acta 48 (1984) 2469-2482.

[52] Sawlowicz S., "*REE and their relevance to the development of the Kupferschiefer copper*

[32] Schwartz G. M., *"Significance of bornite-chalcocite microtextures",* Economic Geology 34 (1939) 399-418.

[33] Bazargani A., "*Petrographic and petrology investigation on Tabakh dagh, Southwest of Marand, NW Iran",* MSc thesis of Petrology", University of Tabriz (2014) 1-225.

[34] Robb L., "*Introduction to Ore-Forming Processes*", Blackwell Publishing Oxford (2005).

[35] Subias I., Fanlo I., Mateo J., *"A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Aragon (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematic*", Ore Geology Reviews 23 (2003) 55-70.

[36] Brown A. C., *"Zoning in the White Pine copper deposit, Ontonogan County, Michigan"*, Economic Geology 66 (1971) 543-573.

[37] Rose A. W., *"Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environments"*, Geological Associations Canadian Special Paper 36 (1989) 97-110.

[38] Yousefi Babvil A., Moayyed M., Study and separation of local stresses around the North Misho Fault (Eastern Azerbijan, NW Iran)", Quarterly Iranian Journal of Geology 19 (2011) 107-119.

[39] Kirkham R. V., *"Distribution, setting, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits"*, In: Boyle R. W., Brown A. C., Jefferson C. W., Jowett E. C., Kirkham R. V., editors, *"Sediment-hosted stratiform copper deposits",* St. John's, Newfoundland, Geological association of Canada special paper 36 (1989) 3-38.

[40] Hitzman M. W., Selley D., Bull S., *"Formation of sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits through earth history"*, Economic Geology 105 (2010) 627-639.

[41] Borg G., Piestrzynski A., Bachmann G. H., Puttmann W., Walther S., Fieldler M., "*An overview of the European Kupferschiefer deposits*", In: Geology and genesis of major copper deposits and districts of the World—A tribute to Richard H. Sillitoe A; Special Publication No. 16; Hedenquist J. W., Harris M., Camus F., Eds; Society of Economic Geologists: Littleton, CO, USA (2012) 455-486.

[42] Selley D., Broughton D., Scoot R., Hitzman M., Bull S., Large R., McGoldeick P., Croaker M.,



[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]

[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]

[55] McLennan S. M., Hemming S., McDaniel D. K., Hanson G. N., *"Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics"*, In: Johnsson M. J., Basu A., eds., Processes controlling the composition of clastic sediments: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 284 (1993) 21-40.

*deposit in Poland*", Ore Geology Reviews 55 (2013) 176-186.

[53] Laux J. H., Lindenmayer Z. G., Teixeira J. B. G., Neto A. B., *"Ore genesis at the Camaqua copper mine, a Neoproterozoic sediment-hosted deposit in southern Brazil"*, Ore Geology Reviews 26 (2005) 71-89.

[54] Rollinson H. R.,*"Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation"*, Longman, U.K. (1993) 1-352.



[ DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.9.3 ]

[ DOI: 10.29252/ijcm.28.3.659 ]